

1 AP20 Rec'd PCT/PTO 29 JUN 2006

MOTEUR DEUX TEMPS A INJECTION DIRECTE

La présente invention se rapporte à un moteur deux temps à injection directe de carburant liquide.

5 Plus particulièrement, l'invention se rapporte à un moteur deux temps à injection directe comprenant une chambre de combustion délimitée par :

- un cylindre présentant un axe longitudinal, qui est muni d'au moins une lumière d'admission et d'au moins
10 une lumière d'échappement ;

- un piston présentant un fond sensiblement plat et déplacé selon l'axe longitudinal par une bielle reliée à un vilebrequin;

- une culasse munie d'une bougie et d'un
15 injecteur adapté pour pulvériser un jet de carburant sous pression dans la chambre de combustion selon un axe de pulvérisation,

la chambre de combustion présentant un premier plan diamétral comprenant l'axe longitudinal du cylindre et
20 centré sur la lumière d'échappement et un deuxième plan diamétral perpendiculaire au dit premier plan diamétral, la bougie étant agencée dans une première portion de la culasse s'étendant depuis le deuxième plan diamétral vers la lumière d'admission, l'injecteur étant agencé sur une
25 deuxième portion de la culasse complémentaire à la première portion, et l'axe de pulvérisation formant un premier angle α mesuré à partir d'un plan transversal du cylindre qui est compris entre 30° et 70° , et un second angle β mesuré à partir du premier plan diamétral qui est compris entre
30 $+ 45^\circ$ et $- 45^\circ$.

Le cycle de fonctionnement des moteurs deux temps comprend pour chaque tour de vilebrequin un premier temps d'admission/compression et un deuxième temps de combustion/échappement.

35 Au cours du premier temps, le piston effectue un

mouvement de translation depuis une position de point mort bas jusqu'à à une position de point mort haut en fermant successivement les lumières d'admission et d'échappement du cylindre. Des gaz frais comprimés dans le carter du vilebrequin sont alors admis, via un canal de transfert, dans la chambre de combustion par les lumières d'admission jusqu'à ce que celles-ci soient fermées par le piston. Les gaz frais admis dans la chambre de combustion sont ensuite comprimés jusqu'à ce que le piston atteigne le point mort haut, tandis que des gaz frais sont aspirés dans le carter du vilebrequin.

Au cours du temps de combustion/échappement, le piston effectue un mouvement de translation du point mort haut au point mort bas en démasquant successivement les lumières d'échappement et d'admission. L'allumage est provoqué par la bougie lorsque le piston est approximativement en sa position de point mort haut. Le mélange gazeux est alors enflammé et le piston est repoussé vers le point mort bas sous l'effet de la pression régnant dans la chambre de combustion. Lors du mouvement du piston vers le point mort bas, les gaz frais contenus dans le carter du vilebrequin sont comprimés et les gaz brûlés contenus dans la chambre de combustion s'échappent par la lumière d'échappement à partir du moment où celle-ci est démasquée par le piston.

Ce type de moteur a l'avantage d'offrir une puissance relativement élevée par rapport à un moteur quatre temps de poids similaire, du fait de l'existence d'un temps moteur pour chaque tour de vilebrequin. De plus, son coût de fabrication est particulièrement bas, car le nombre de pièces est inférieur à celui d'un moteur quatre temps.

Toutefois, ce type de moteur présente généralement l'inconvénient d'une consommation de carburant élevée et d'une émission importante de polluants par rapport à un

moteur quatre temps. Ceci est dû à la concomitance des phases d'admission et de compression, ainsi que de la phase d'échappement. Au cours du balayage de la chambre de combustion par les gaz frais, des gaz chargés de carburant peuvent passer par l'échappement.

Pour pallier ces inconvénients, il est possible d'effectuer une injection directe du carburant dans la chambre de combustion, comme par exemple décrit dans la demande de brevet WO-A-02/086310.

Dans certains moteurs deux temps à injection directe, on a cherché à améliorer l'injection du carburant en assistant celle-ci avec l'injection d'air comprimé. Toutefois, cela diminue la quantité de mouvement du jet injecté et augmente la complexité du système d'injection, ainsi que son coût de fabrication.

Dans le but de réduire la consommation de carburant, certains moteurs deux temps à injection directe ont également été conçus de manière à fonctionner en mélange pauvre grâce à une stratification de la richesse du mélange gazeux. Mais ce résultat a été obtenu en modifiant de manière importante la forme du piston et de la culasse et, par conséquent, ce type de solution est plus difficilement applicable aux moteurs deux temps actuellement produits en grande série. De plus, un fonctionnement en mélange pauvre favorise la création de certains polluants, comme par exemple les NOx, ce qui ne permet pas de respecter les normes antipollution en vigueur sans utiliser un système de dépollution complexe.

La présente invention a pour but d'améliorer les moteurs deux temps à injection directe, afin notamment de satisfaire les normes antipollution en vigueur et à venir, et ce, en modifiant de manière minimale la géométrie de la chambre de combustion pour que la présente invention puisse être applicable aux moteurs existants.

A cet effet, la présente invention a pour objet un

moteur du type précité,

caractérisé en ce que l'angle d'ouverture γ du jet de carburant est compris entre 15° et 75° ,

en ce que l'injection du carburant débute lorsque
5 le vilebrequin est situé dans une position angulaire comprise entre 45° et 20° avant la position angulaire de fermeture de la lumière d'échappement,

et en ce que la pression d'injection du carburant et l'orientation de l'axe de pulvérisation sont déterminées
10 en fonction de la circulation des gaz dans la chambre de combustion pour obtenir un mélange air/carburant sensiblement stoechiométrique dans la région de la bougie au moment de l'allumage.

L'angle d'ouverture γ du jet limité à 75° permet de
15 former les gouttelettes de carburant dans une zone limitée de la chambre de combustion où les gaz ont un profil de vitesse particulier, et évite surtout la pulvérisation de gouttelettes contre les parois de la chambre de combustion, ce qui augmenterait les émissions de polluants.

Le fait de commencer l'injection du carburant au
20 moins 20° avant la fermeture des lumières d'échappement, c'est-à-dire de manière anticipée par rapport aux dispositifs d'injection directe antérieurs dans lesquels l'injection débute généralement lorsque la lumière
25 d'échappement est fermée pour éviter le passage de gouttelettes de carburant vers l'échappement, augmente le temps de brassage des gouttelettes de carburant avec les gaz frais et la vaporisation du carburant, de manière à obtenir un mélange air/combustible plus homogène au moment
30 de l'allumage.

L'orientation de l'axe de pulvérisation compris dans les valeurs du premier angle α et du second angle β mentionnées, réduit le passage de carburant par la lumière d'échappement lors de la phase de compression, et ce malgré
35 l'injection précoce du carburant.

Enfin, en adaptant la pression d'injection du carburant et l'orientation de l'axe de pulvérisation dans les plages angulaires mentionnées, il est possible d'obtenir un mélange air/carburant stoechiométrique dans la région de la bougie au moment de l'allumage. Cette adaptation doit être effectuée en fonction de la circulation des gaz dans la chambre de combustion qui peut être déterminée par simulation numérique. A partir du profil des lignes de courant des gaz dans la chambre de combustion, qui est sensiblement constant au cours de la phase d'admission/compression, il est possible d'adapter l'orientation de l'axe de pulvérisation de manière à ce que les gouttelettes de carburant pulvérisées par l'injecteur rencontrent des gaz circulant à contre-courant de celles-ci.

De plus, en adaptant la pression d'injection du carburant, on peut modifier la quantité de mouvement du carburant injecté de manière à ce que la quantité de mouvement des gaz frais, circulant en sens sensiblement inverse, provoque un arrêt, et même un recul des gouttelettes et de la vapeur de carburant, pour obtenir un mélange stoechiométrique à proximité de la bougie lors de l'allumage.

Les essais effectués en appliquant l'ensemble de ces dispositions ont permis de constater une diminution très significative des émissions polluantes, de sorte que les moteurs deux temps ainsi réalisés satisfont les normes d'antipollution actuellement en vigueur, mais aussi les futures normes connues à ce jour, sans nécessiter de système de dépollution complexe et onéreux.

De plus, on a également constaté une réduction extrêmement importante de la consommation de carburant, de l'ordre de 30 % par rapport à un moteur identique alimenté par un carburateur, ce qui est bien supérieur à la réduction de consommation attendue, étant donné qu'il ne

s'agit pas d'un moteur à charge stratifiée fonctionnant en mélange pauvre.

On notera que ces dispositions peuvent s'appliquer à la plupart des moteurs deux temps existants alimentés par carburateur, puisque pour les mettre en œuvre, il suffit de
5 réaliser un alésage pour l'injecteur dans la culasse, mais que les géométries du piston, du cylindre et de la culasse, n'ont pas à être modifiées.

Dans des formes de réalisations préférées de
10 l'invention, on a recours, en outre, à l'une et/ou à l'autre des dispositions suivantes :

- la pression d'injection du carburant est variable en fonction du régime moteur et/ou de la charge du moteur, afin d'obtenir une réduction optimale des émissions
15 de polluants sur l'ensemble de la plage de fonctionnement du moteur ;

- la pression d'injection du carburant est comprise entre 50 et 150 bars ;

- la pression d'injection du carburant est
20 ajustée à différentes valeurs selon une cartographie régime/charge du moteur ;

- la pression d'injection du carburant est constante sur l'ensemble de la plage de fonctionnement du moteur, le moteur présentant de préférence une cylindrée au
25 plus égale à 125 cm³, pour réduire les émissions de polluants avec un système d'injection relativement simple ;

- l'injecteur est disposé dans un alésage de la culasse orienté selon un axe donné et dans lequel l'axe de pulvérisation forme un angle θ non nul avec ledit axe de
30 l'alésage ;

- l'injecteur est agencé à travers la culasse au niveau du premier plan diamétral, ce qui permet son montage dans un moteur de petite cylindrée ;

- l'injection du carburant commence lorsque le
35 vilebrequin est situé dans une position angulaire comprise

entre 40° et 30° avant la position angulaire de fermeture de la lumière d'échappement.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront au cours de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple non limitatif, en
5 référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une vue simplifiée en coupe selon un plan diamétral du cylindre, d'un moteur deux temps à injection directe réalisé selon l'invention ;
- 10 - la figure 2 est une vue en coupe simplifiée selon la ligne II-II de la figure 1 ;
- la figure 3 est une vue obtenue par simulation numérique représentant les lignes de flux de gaz dans un moteur deux temps ;
- 15 - les figures 4 à 6 représentent la propagation du jet de carburant et l'évolution de la région où l'on obtient un mélange sensiblement stoechiométrique dans un moteur réalisé selon l'invention entre le début de l'injection et le moment de l'allumage.
- 20 --- Sur les différentes figures, on a conservé des références identiques pour désigner des éléments identiques ou similaires.

A la figure 1 est représentée une coupe d'un moteur deux temps monocylindre muni d'un système d'injection
25 directe.

La structure de ce moteur, à l'exclusion du dispositif d'injection, est connue et en tous points semblables à la structure de moteur deux temps à carburateur produit en grande série actuellement.

30 Cette structure comprend un carter pompe 2, à l'intérieur duquel un vilebrequin 3 est monté rotatif. Le vilebrequin 3 est relié à un piston 4 par l'intermédiaire d'une bielle 5. Le piston 4 présente un fond 4a, une tête 4b munie de segments d'étanchéité et une jupe 4c. Le fond
35 4a du piston peut être plat comme dans le mode de

réalisation représenté ou légèrement bombé. On notera qu'il s'agit d'un piston de forme tout à fait standard, et non pas d'un piston présentant des reliefs ou des cavités prononcés sur son fond, comme dans certains moteurs deux 5 temps expérimentaux qui sont destinés à fonctionner en mélange pauvre.

Le piston 4 est mobile dans un cylindre 6 selon l'axe longitudinal X du cylindre.

La paroi 6a du cylindre est munie de lumières 10 d'admission (7, 8) et d'une lumière d'échappement 9. Plus particulièrement, les lumières d'admission comprennent une lumière principale 7 disposée en regard de la lumière d'échappement 9 et quatre lumières d'admission supplémentaires 8, appelées lumières de balayage qui sont 15 disposées de part et d'autre de la lumière d'admission principale. Toutefois, les lumières d'admission et d'échappement pourraient présenter d'autres configurations connues, comme par exemple une lumière d'admission unique, des lumières de balayage 8 disposées de manière non 20 --symétrique par rapport à la lumière principale 7 ou encore de multiples lumières d'échappement 9.

L'extrémité du cylindre 6 opposée au piston 4 est fermée par une culasse 10, sensiblement hémisphérique dans le mode de réalisation représenté, et munie de manière 25 connue d'une bougie d'allumage 11.

Le fond 4a du piston, la paroi interne 6a du cylindre et la face interne de la culasse 10 délimitent la chambre de combustion 12 du moteur.

Les gaz frais sont admis dans le carter pompe 2 par 30 un conduit d'admission 15, notamment sous l'effet de la dépression créée dans celui-ci lorsque le piston 4 remonte vers la culasse 10, c'est-à-dire lors du temps d'admission/compression. Lorsque le piston 4 descend vers le vilebrequin 3 au cours de la phase de 35 combustion/échappement, les gaz frais contenus dans le

carter pompe 2 sont transférés par un canal de transfert 16 vers les lumières d'admission (7, 8). Le conduit d'admission 15 peut, de manière connue, être équipé de clapets anti-retour et/ou être masqué par les flasques du vilebrequin pour éviter un reflux des gaz frais à travers le conduit d'admission au cours du temps de combustion/échappement.

Les lumières d'admission (7, 8) sont situées à une distance longitudinale de la culasse 10 plus importante que la lumière d'échappement 9, de sorte qu'elles sont fermées par le piston 4 avant la lumière d'échappement 9 au cours de la phase d'admission/compression.

Au cours de la phase d'admission/compression, la lumière d'échappement 9 est fermée par le piston 4 à partir d'une certaine position angulaire du vilebrequin, qui est appelée position angulaire de fermeture de la lumière d'échappement ou encore angle de fermeture de l'échappement. Cette position angulaire est définie précisément par la structure du moteur.

Les moteurs deux temps présentant une telle structure sont bien connus et peuvent être produits en très grande série à un prix particulièrement compétitif. Leur cylindrée varie de manière assez importante en fonction de leur utilisation. Par exemple, pour motoriser un outillage portatif comme une tronçonneuse ou une débroussailleuse à main, la cylindrée est généralement comprise entre une quinzaine et une quarantaine de centimètres cubes tandis que pour motoriser un véhicule à deux roues de type mobylette, moto ou engin de loisir, la cylindrée varie généralement entre 50 cm³ et 400 cm³. Toutefois, la cylindrée totale du moteur peut être encore plus importante dans le cas d'un moteur multi-cylindres.

On définit un premier plan diamétral de la chambre de combustion, qui comprend l'axe longitudinal X du cylindre et qui est centré sur la lumière d'échappement 9.

Si le cylindre 6 comprend plusieurs lumières d'échappement, le premier plan diamétral doit être centré sur une lumière fictive présentant une surface géométrique équivalente à l'ensemble des surfaces des lumières d'échappement. Ce
5 premier plan diamétral correspond au plan de coupe du mode de réalisation représenté à la figure 1 et sa trace (P1-P1) est visible sur la figure 2.

On définit également un deuxième plan diamétral qui est perpendiculaire au premier plan diamétral (P1-P1) et
10 dont la trace (P2-P2) est visible sur les figures 1 et 2.

Le deuxième plan diamétral (P2-P2) délimite une première portion de la face interne de la culasse 10, incluant le deuxième plan diamétral, qui s'étend vers la lumière d'admission principale 7.

15 La bougie 11 est agencée dans cette première portion de la culasse, c'est-à-dire que le puits de la bougie doit déboucher dans cette région, soit en formant un angle avec l'axe longitudinal X comme dans le mode de réalisation représenté; soit en étant colinéaire ou
20 confondu avec l'axe longitudinal X.

Le moteur 1 est équipé d'un dispositif d'injection comprenant un injecteur 20 adapté pour pulvériser un carburant liquide et sous pression dans la chambre de combustion 12 selon un axe de pulvérisation P.

25 L'injecteur 20 est agencé dans une deuxième portion de la culasse complémentaire à la première portion de la culasse, c'est-à-dire que l'extrémité de pulvérisation de l'injecteur 20 débouche dans la deuxième portion de la face interne de la culasse.

30 Plus particulièrement, comme cela ressort des figures 1 et 2, l'injecteur 20 est agencé dans la culasse au niveau du premier plan diamétral (P1-P1) centré sur l'échappement, pour permettre son montage dans un moteur de petite cylindrée.

35 L'axe de pulvérisation P défini par l'axe de

symétrie du jet de carburant créé par l'injecteur, forme un premier angle α qui est mesuré à partir d'un plan transversal (T-T) du cylindre, c'est-à-dire perpendiculaire à l'axe longitudinal X. La manière de déterminer
5 précisément ce premier angle α en fonction de la géométrie de la chambre de combustion sera explicitée ci-après, mais il doit être compris entre 30° et 70° pour les moteurs deux temps les plus courants.

L'axe de pulvérisation P forme également un second
10 angle β , visible sur la figure 2, qui est mesuré à partir du premier plan diamétral (P1-P1) centré sur la lumière d'échappement 9. Cet angle doit être compris entre + 45° et - 45°, la manière de déterminer sa valeur précise étant également explicitée ci-après. L'axe de pulvérisation P
15 présentant les premier et second angles α , β , compris dans ces valeurs est globalement dirigé vers la demi-portion du cylindre opposée à la lumière d'échappement.

Le jet de carburant présente dans le mode de réalisation représenté une forme conique avec une symétrie
20 de révolution autour de l'axe P, mais il est possible d'utiliser un jet de carburant de forme plus complexe, comme par exemple un jet présentant une section transversale ovale. Toutefois, l'angle d'ouverture γ du jet de carburant qui est défini par deux bords opposés du jet
25 de gouttelettes, doit être compris entre 15 et 75° afin de pouvoir être dirigé vers une zone relativement localisée de la chambre de combustion, et surtout, afin que les gouttelettes n'atteignent pas directement les parois de la chambre de combustion, ce qui aurait un effet très
30 défavorable sur les émissions de polluants.

Le dispositif d'injection comprend bien entendu un dispositif de commande, non représenté, qui permet de commander l'instant où doit débiter l'injection ainsi que la durée de celle-ci. Le dispositif de commande est relié à

des moyens de détermination de la position angulaire du vilebrequin pour envoyer un signal d'ouverture de l'injecteur 20 à un instant approprié, et à des moyens de détermination des paramètres de fonctionnement du moteur, comme par exemple un capteur de régime moteur et/ou un capteur de charge pour déterminer la durée de l'injection et, par conséquent, la quantité de carburant injecté.

Le dispositif de commande agit sur l'injecteur 20 de manière à ce que, au moins pour certaines plages de fonctionnement, l'injection du carburant débute lorsque le vilebrequin est dans une position angulaire comprise entre 45 et 20° avant la position de fermeture de la lumière d'échappement, et de préférence dans une position angulaire comprise entre 40 et 30° avant l'angle de fermeture de l'échappement. Cette injection est relativement précoce, puisqu'elle commence lorsque les gaz d'échappement sont encore évacués vers la lumière d'échappement. Elle est notamment plus précoce que dans la plupart des systèmes à injection directe connus où l'on cherche à retarder le début de l'injection pour éviter qu'une partie du mélange de gaz et de carburant non brûlé ne passe par la lumière d'échappement.

Toutefois, en adaptant la pression d'injection du carburant et l'orientation de l'axe de pulvérisation P dans les plages angulaires précédemment indiquées, et de la manière explicitée ci-après, on évite un passage de gaz non brûlés par la lumière d'échappement.

L'injection anticipée permet d'injecter une quantité de carburant plus importante au cours du cycle, par conséquent elle est particulièrement avantageuse lorsque le moteur fonctionne à pleine charge et à haut régime. Mais l'invention n'exclue pas la possibilité de débiter l'injection plus tardivement, après la fermeture de l'échappement, pour certaines plages de fonctionnement du moteur.

Pour adapter la pression d'injection de carburant et l'orientation de l'axe de pulvérisation P de manière correcte, il faut que celles-ci soient déterminées en fonction de la circulation des gaz dans la chambre de combustion, de manière à obtenir un mélange stoechiométrique de gaz dans la région de la bougie 11 au moment de l'allumage. L'allumage provoqué par une étincelle entre les électrodes 11a de la bougie est effectué de manière habituelle, lorsque le vilebrequin est dans une position angulaire inférieure de quelques degrés à la position du point mort haut du piston, cette avance à l'allumage pouvant être plus ou moins importante en fonction du régime de rotation du moteur ou de sa charge.

La pression d'injection et l'orientation de l'axe de pulvérisation P sont préférentiellement déterminées à l'aide d'une simulation numérique de la circulation des gaz dans la chambre de combustion lors de la phase d'admission/compression. La simulation numérique permet de connaître de manière précise le trajet des flux de gaz dans la chambre de combustion, comme le montre la figure 3 qui représente les lignes de courant des gaz lorsque le piston est dans une position encore relativement basse. Toutefois, il faut noter que du fait de l'énergie cinétique importante des gaz entrant dans la chambre combustion, la forme de ces lignes de courant ne change pas de manière sensible au cours de toute la phase d'admission/compression.

Comme on peut le voir sur la figure 3, les gaz effectuent essentiellement un mouvement de rouleau (appelé tumble), c'est-à-dire un mouvement de rotation autour d'un axe parallèle à l'axe du vilebrequin. Ceci est dû à la position diamétralement opposée de la lumière principale d'admission 7 et de la lumière d'échappement 9, ainsi qu'à la disposition symétrique des lumières de balayage 8 de part et d'autre de la lumière d'admission principale. Mais dans le cas de lumières disposées non symétriquement par

rapport au premier plan diamétral (P1-P1), on introduit une composante de mouvement de tourbillon (appelé swirl), c'est-à-dire un mouvement partiel de rotation autour de l'axe longitudinal X du cylindre.

5 L'angle α de l'axe de pulvérisation P est ajusté dans la plage de 30 à 70°, de manière à ce que le jet de carburant soit projeté à contre-courant de flux de gaz frais provenant des lumières d'admission (7, 8). On notera que la base du jet de carburant traverse des flux de gaz
10 circulant à proximité immédiate du débouché de l'injecteur 20 sur la face interne de la culasse 10. Toutefois, du fait du compromis entre l'angle d'ouverture γ et la pression d'injection (quantité de mouvement du jet), les particules de carburant à proximité de la culasse ne sont pas encore
15 finement pulvérisées et leur énergie cinétique est importante, de sorte que les flux de gaz s'écoulant à proximité de l'injecteur 20 affectent peu la propagation du jet dans la chambre de combustion 12.

Dans le mode de réalisation représenté, il n'y a
20 pas de phénomène de tourbillon autour de l'axe X de la chambre de combustion, et par conséquent, le second angle β de l'axe de pulvérisation P doit être sensiblement nul. Par contre, en présence d'un mouvement tourbillonnaire, l'angle β devrait être plus ou moins prononcé en fonction de
25 l'importance ce mouvement tourbillonnaire, de manière à ce que la propagation du jet soit le plus possible à contre-courant des flux de gaz frais. La valeur positive ou négative du second angle β est bien entendu déterminée en fonction du sens de rotation du mouvement tourbillonnaire
30 des gaz.

Par ailleurs, la pression d'injection doit également être adaptée en fonction de la circulation des gaz dans la chambre de combustion. Cette pression d'injection ne doit pas être trop élevée car il faut éviter

la projection de gouttelettes de carburant directement sur la paroi 6a du cylindre ou sur le fond 4a du piston. Mais, cette pression doit être suffisamment élevée pour que les gouttelettes de carburant atteignent une région où elles
5 rencontreront des flux de gaz circulant à contre-courant et pour ne pas être entraînées vers la lumière d'échappement 9 par des flux de gaz circulant le long de la paroi de la culasse 10.

La pression d'injection adaptée peut être
10 déterminée à l'aide d'un diagramme des vitesses des gaz, qui est également obtenu par simulation numérique. Ce diagramme des vitesses, non représenté, est constitué de vecteurs orientés selon les lignes de courant et de longueur plus ou moins importants en fonction de la vitesse
15 des gaz au point considéré. Une fois l'orientation de l'axe de pulvérisation P déterminé, il est possible de déterminer la pression d'injection de manière à ce que la quantité de mouvement des gouttelettes de carburant dans la région de diffusion du jet soit sensiblement égale, inférieure ou
20 légèrement supérieure, à la quantité de mouvement des gaz circulant à contre-courant selon le profil de mélange désiré.

Bien que l'inventeur ait adapté l'axe de pulvérisation P et la pression d'injection à l'aide de la
25 simulation numérique, il est envisageable de déterminer ces paramètres dans les plages de valeurs indiquées à l'aide d'essais et des connaissances empiriques que l'homme du métier peut avoir sur la circulation des gaz en fonction de la géométrie de la chambre de combustion. Toutefois, il est
30 important que l'injection débute de manière précoce, c'est-à-dire entre 45 et 20° avant l'angle de fermeture de l'échappement, et de préférence entre 40 et 30° avant cet angle de fermeture.

En adaptant ainsi l'axe de pulvérisation P et la
35 pression d'injection, on obtient la propagation du jet de

carburant et l'évolution de la région présentant un mélange air/carburant sensiblement stoechiométrique, qui est représenté aux figures 4 à 6, au cours de la phase de compression. Le terme air désigne les gaz frais aspirés au cours de la phase d'admission, mais aussi un éventuel reliquat de gaz brûlés lors du précédent cycle ou des gaz d'échappement réintroduit dans la chambre par un système EGR.

A la figure 4, on peut voir la propagation du jet de carburant peu après le début de l'injection qui a commencé 40° avant l'angle de fermeture de l'échappement pour le mode de réalisation représenté. Le jet a une forme tronconique qui présente une symétrie de révolution autour de l'axe P. L'angle d'ouverture γ du jet est d'environ 50°.

Les courbes 23 indiquent le contour des zones de la chambre de combustion où l'on a différentes valeurs de λ (Lambda), λ étant défini par le rapport entre la proportion d'air et de carburant effectivement présente, et la proportion d'air et de carburant théorique qui est nécessaire pour avoir un mélange stoechiométrique. Un mélange d'air et de carburant est dit stoechiométrique lorsque l'oxydation des chaînes C-H est idéalement consommée à cent pour cent. Une région de la chambre de combustion où l'on trouve une valeur λ égale à 1 signifie donc que le mélange air/carburant est stoechiométrique dans celle-ci.

On notera que la région définie par les contours 23 est légèrement décalée vers la lumière d'échappement par rapport à l'axe de pulvérisation P, mais toutefois, cette portion de mélange n'est pas entraînée jusqu'à la lumière d'échappement 9. En effet, comme on peut le voir à la figure 5, la quantité de mouvement importante du carburant injecté entraîne celui-ci vers la demi-portion du cylindre située du côté des lumières d'admission (7,8).

La situation représentée à la figure 5 correspond à

peu près au moment où l'on obtient la fermeture de la lumière d'échappement, soit environ une quarantaine de degrés après la figure 4. Dans cette situation, la quantité de mouvement du carburant est annulée par la quantité de mouvement des gaz frais dont le mouvement se poursuit bien que les lumières d'admission soient fermées. On notera que l'injection du carburant peut être prolongée après la fermeture de la lumière d'échappement 9.

Lorsque le piston arrive à proximité du point mort haut, la portion de la chambre de combustion où règne un mélange stoechiométrique a évolué de manière à occuper la région de la bougie, comme on peut le voir sur la figure 6 où les électrodes 11a de la bougie sont représentées symboliquement. Cette situation est obtenue grâce au mouvement de retour vers l'injecteur 20 du carburant sous l'effet de l'énergie cinétique des gaz admis. Dans cette situation, le carburant est vaporisé et forme un mélange stoechiométrique avec les gaz frais.

L'allumage est alors commandé en créant une étincelle entre les électrodes 11a de la bougie qui enflamme le mélange stoechiométrique.

On notera que le mélange stoechiométrique occupe la majeure partie de la chambre de combustion. Seule, une faible portion de la chambre de combustion, située du côté de la lumière de échappement, contient un mélange pauvre, ce qui garantit un déroulement régulier de la combustion.

L'injection directe ainsi réalisée permet de réduire considérablement les émissions de polluants d'un moteur deux temps de type existant, et notamment de satisfaire les futures normes antipollution.

Par ailleurs, les essais effectués avec des moteurs deux temps mettant en œuvre l'injection directe selon l'invention ont permis de constater des réductions tout à fait spectaculaires de la consommation de carburant. En effet, sur certains moteurs, on a constaté une réduction

sur un cycle réglementaire d'antipollution, de 30 % de la consommation en passant d'une alimentation par carburateur à une alimentation par injection directe selon l'invention. Cette réduction, plus importante que celle généralement obtenue avec les systèmes d'injection directe pour moteurs deux temps connus, peut en partie s'expliquer par la précocité du début de l'injection qui augmente le temps pendant lequel le carburant se vaporise et permet d'obtenir un mélange stoechiométrique dans une large partie de la chambre de combustion.

La circulation des gaz dans la chambre de combustion, et principalement le diagramme de vitesse de ces gaz, peut varier assez sensiblement en fonction du régime et de la charge du moteur. Dans certains modes de réalisations, et notamment pour les moteurs de cylindrée relativement importante, il peut être préférable que la pression d'injection varie en fonction du régime ou de la charge du moteur, ou en fonction de ces deux paramètres. Cette variation de la pression d'injection peut être commandée de manière connue par le dispositif d'injection. Par exemple, le dispositif d'injection peut être relié à un capteur de régime moteur et un capteur d'ouverture du papillon de gaz d'admission, et comprendre des moyens de régulation de la pression régnant dans un accumulateur de carburant sous pression. En ajustant la pression d'injection du carburant entre 50 et 150 bars, on peut obtenir une combustion optimale sur l'ensemble de la plage de fonctionnement du moteur. Bien entendu, le dispositif de commande de l'injection est également adapté pour contrôler la durée d'injection afin de n'injecter que la quantité de carburant nécessaire.

La pression d'injection peut varier de manière continue sur l'ensemble de la plage de fonctionnement du moteur, ou selon différentes valeurs discrètes selon une cartographie régime/charge du moteur.

Toutefois, dans le cas de moteurs de petite cylindrée, c'est-à-dire de cylindrée environ égale ou inférieure à 125 cm³, il est possible d'adopter une pression d'injection constante sur l'ensemble de la plage de fonctionnement du moteur tout en ayant une réduction significative des émissions de polluants et de la consommation. Le fait d'injecter le carburant à une pression constante, par exemple de 80 bars pour un moteur 50 cm³, permet d'utiliser un dispositif d'injection relativement simple qui n'augmente pas de manière excessive le coût du moteur.

Par ailleurs, comme on peut le voir sur la figure 1, il est possible de disposer l'injecteur 20 dans un alésage de la culasse 10 orienté selon un axe I qui n'est pas colinéaire avec l'axe de pulvérisation P, c'est-à-dire que l'axe I de l'alésage forme un angle δ non nul avec l'axe de pulvérisation P. Cette disposition offre de plus grandes possibilités d'implantation de l'injecteur 20 dans la culasse 10 pour pulvériser le carburant selon un axe P-déterminé. Ceci peut être particulièrement avantageux lorsqu'on cherche à implanter le dispositif d'injection dans un moteur deux temps existant dont la géométrie de la culasse limite les possibilités de réalisation de l'alésage de l'injecteur 20.

Le mode de réalisation représenté aux différentes figures correspond à un moteur deux temps comportant une lumière principale d'admission, quatre lumières de balayage et une lumière d'échappement disposées symétriquement par rapport au premier plan diamétral (P1-P1), mais il apparaîtra clairement à l'homme du métier que le dispositif d'injection selon l'invention peut être adapté à un moteur deux temps comportant un nombre de lumières différent, ou disposées de manières non symétrique, ainsi qu'à un moteur deux temps multicylindres.

REVENDICATIONS

1. Moteur deux temps à injection directe comprenant une chambre de combustion (12) délimitée par :

5 - un cylindre (6) présentant un axe longitudinal (X), qui est muni d'au moins une lumière d'admission (7,8) et d'au moins une lumière d'échappement (9) ;

 - un piston (4) présentant un fond (4a) sensiblement plat et déplacé selon l'axe longitudinal par
10 une bielle (5) reliée à un vilebrequin (3) ;

 - une culasse (10) munie d'une bougie (11) et d'un injecteur (20) adapté pour pulvériser un jet de carburant liquide sous pression dans la chambre de combustion selon un axe de pulvérisation (P),

15 la chambre de combustion (12) présentant un premier plan diamétral (P1-P1) comprenant l'axe longitudinal (X) du cylindre et centré sur la lumière d'échappement et un deuxième plan diamétral (P2-P2) perpendiculaire au dit premier plan diamétral (P1-P1), la bougie (11) étant
20 ~~agencée dans une première portion de la culasse s'étendant~~ depuis le deuxième plan diamétral (P2-P2) vers la lumière d'admission (7), l'injecteur (20) étant agencé sur une deuxième portion de la culasse complémentaire à la première portion, et l'axe de pulvérisation (P) formant un premier
25 angle α mesuré à partir d'un plan transversal (T-T) du cylindre, qui est compris entre 30° et 70° , et un second angle β mesuré à partir du premier plan diamétral (P1-P1) qui est compris entre $+45^\circ$ et -45° ,

 caractérisé en ce que l'angle d'ouverture γ du jet
30 de carburant est compris entre 15° et 75° ,

 en ce que l'injection du carburant débute lorsque le vilebrequin (3) est situé dans une position angulaire comprise entre 45° et 20° avant la position angulaire de fermeture de la lumière d'échappement (9),

et en ce que la pression d'injection du carburant et l'orientation de l'axe de pulvérisation (P) sont déterminées en fonction de la circulation des gaz dans la chambre de combustion (12) pour obtenir un mélange
5 air/carburant sensiblement stoechiométrique dans la région de la bougie (11) au moment de l'allumage.

2. Moteur selon la revendication 1, dans lequel la pression d'injection du carburant est variable en fonction du régime moteur et/ou de la charge du moteur.

10 3. Moteur selon la revendication 2, dans lequel la pression d'injection du carburant est comprise entre 50 et 150 bars.

4. Moteur selon la revendication 2 ou 3, dans lequel la pression d'injection du carburant est ajustée à
15 différentes valeurs selon une cartographie régime/charge du moteur.

5. Moteur selon la revendication 1, dans lequel la pression d'injection du carburant est constante sur l'ensemble de la plage de fonctionnement du moteur, le
20 moteur présentant de préférence une cylindrée au plus égale à 125 cm³.

6. Moteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'injecteur (20) est disposé dans un alésage de la culasse (10) orienté
25 selon un axe (I) et dans lequel l'axe de pulvérisation (P) forme un angle δ non nul avec ledit axe (I) de l'alésage.

7. Moteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'injecteur (20) est agencé à travers la culasse (10) au niveau du premier
30 plan diamétral (P1-P1).

8. Moteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'injection du carburant commence lorsque le vilebrequin (3) est situé dans une position angulaire comprise entre 40° et 30° avant
35 la position angulaire de fermeture de la lumière d'échappement (9).

1/3

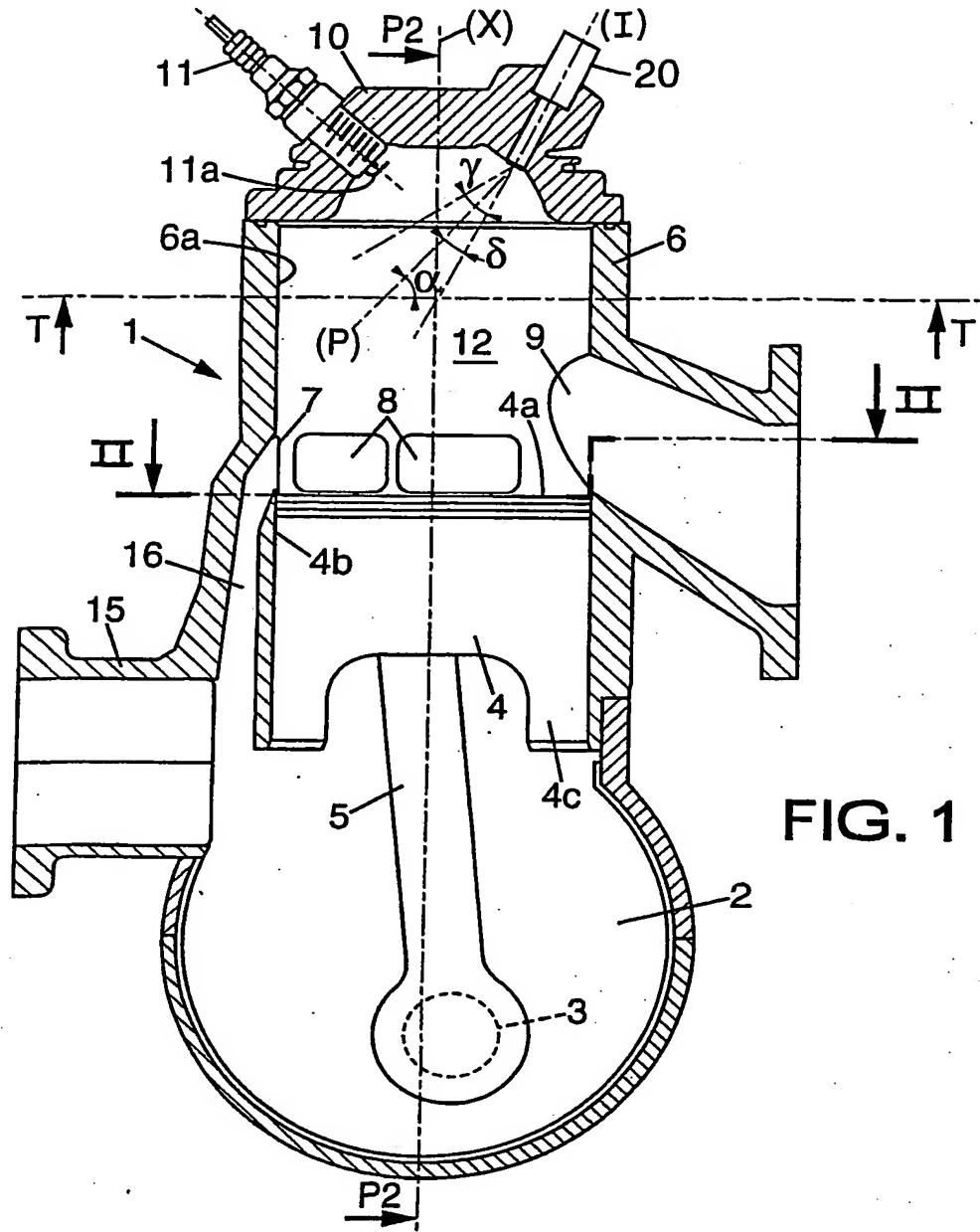


FIG. 1

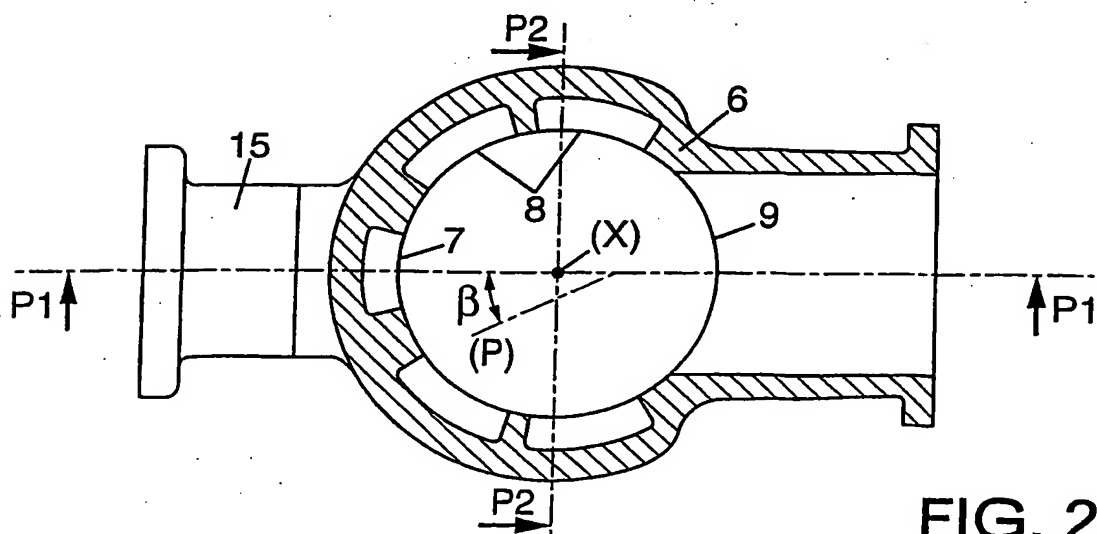


FIG. 2

2/3

FIG. 3

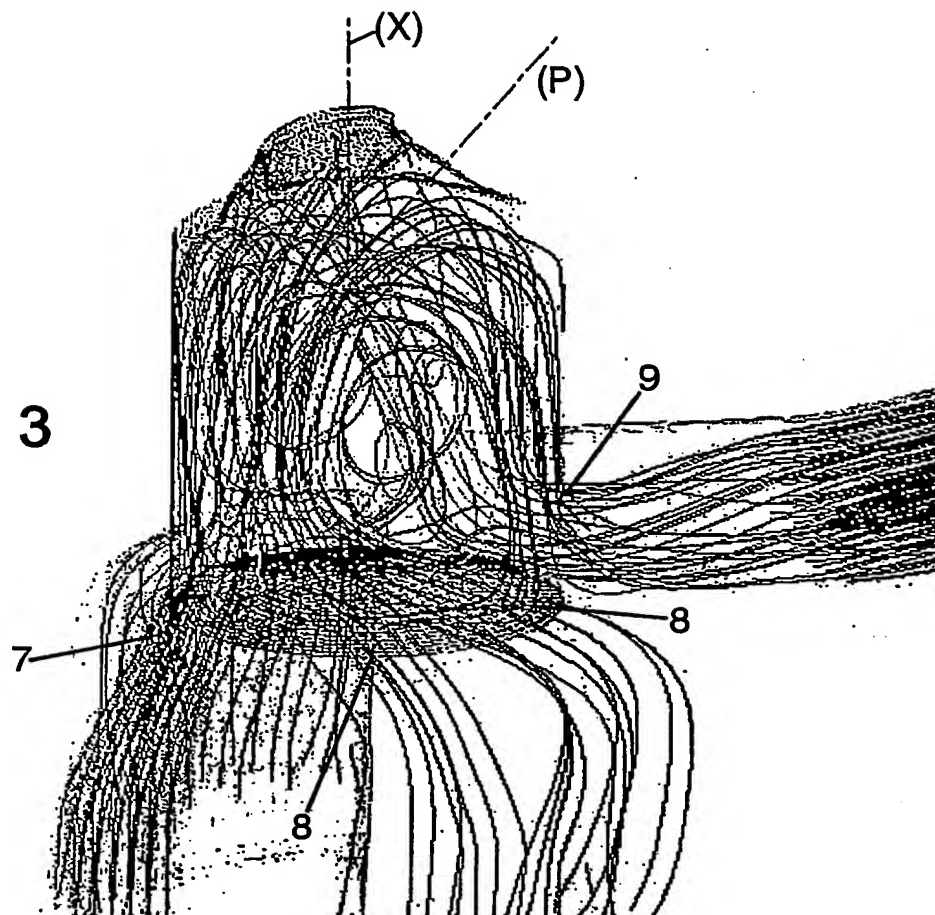
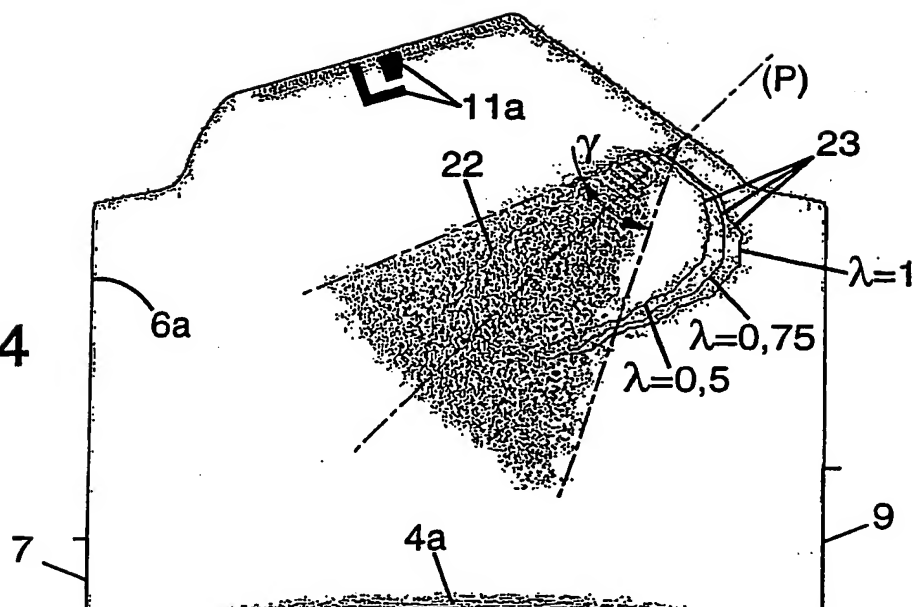


FIG. 4



3/3

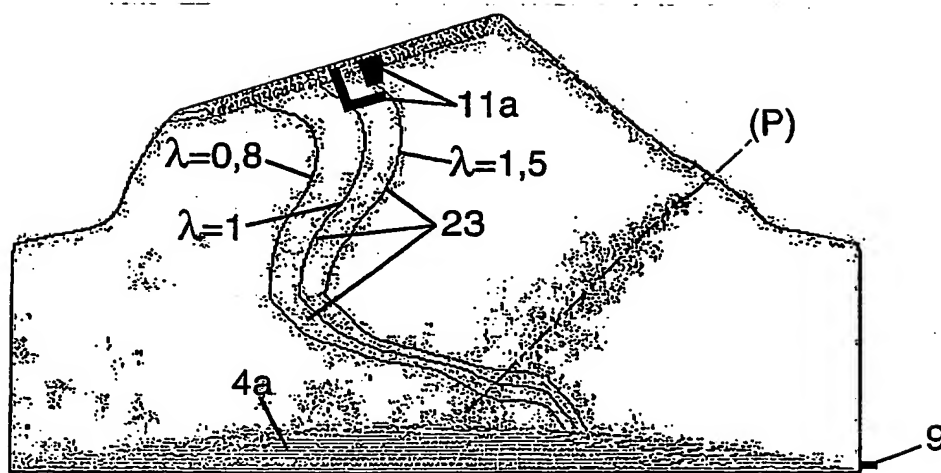


FIG. 5

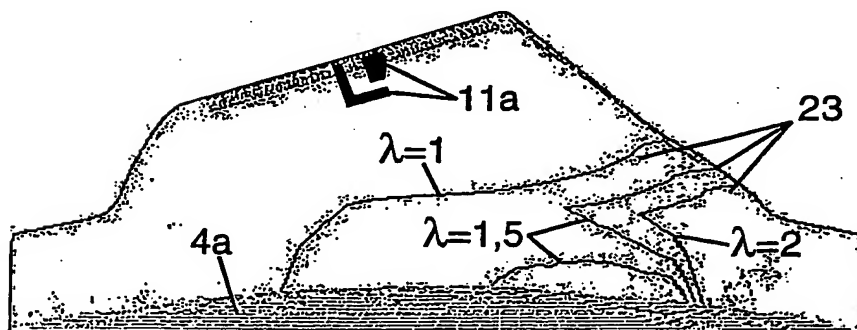


FIG. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR2004/003400

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 F02B3/02 F02B23/10 F02B25/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 F02B F02D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 6 508 225 B1 (HIKI KEIICHI) 21 January 2003 (2003-01-21) column 12, line 5 - column 13, line 47 figures 5-10	1, 2, 4, 6-8
Y	US 6 481 394 B1 (HIKI KEIICHI) 19 November 2002 (2002-11-19) abstract column 2, line 59 - column 3, line 67 column 7, line 1 - line 19 column 9, line 47 - column 10, line 4 column 11, line 49 - column 12, line 5 figures 2, 3, 10, 12	1, 6-8

-/--

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 April 2005

Date of mailing of the international search report

25/04/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Matray, J-F

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/FR2004/003400

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 6 227 165 B1 (KATO MASAHICO ET AL) 8 May 2001 (2001-05-08) abstract column 1, line 36 - line 51 column 5, line 32 - column 6, line 58 column 9, line 21 - line 34 figures 2,3,12	1,2,4, 6-8
A	US 6 302 753 B1 (KATO MASAHICO ET AL) 16 October 2001 (2001-10-16) abstract column 1, line 31 - line 64	1
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 21, 3 August 2001 (2001-08-03) & JP 2001 115845 A (YAMAHA MOTOR CO LTD), 24 April 2001 (2001-04-24) abstract figures 1,2	1,2,4, 6-8
A	US 6 092 494 A (DAVIS RICHARD A) 25 July 2000 (2000-07-25) abstract column 5, line 65 - column 6, line 41 figures 1,2,4,6	1
A	WO 02/086310 A (MAGNETI MARELLI FRANCE) 31 October 2002 (2002-10-31) cited in the application abstract page 4, line 29 - page 7, line 27 figures 1,2	1,6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR2004/003400

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
US 6508225	B1	21-01-2003	JP	2000213431 A	02-08-2000
US 6481394	B1	19-11-2002	JP	2001090576 A	03-04-2001
			JP	2001090590 A	03-04-2001
US 6227165	B1	08-05-2001	JP	11173205 A	29-06-1999
US 6302753	B1	16-10-2001	JP	10306752 A	17-11-1998
			JP	11082216 A	26-03-1999
			JP	11082217 A	26-03-1999
			JP	2000073904 A	07-03-2000
			US	6112726 A	05-09-2000
			US	6390071 B1	21-05-2002
JP 2001115845	A	24-04-2001	NONE		
US 6092494	A	25-07-2000	NONE		
WO 02086310	A	31-10-2002	FR	2824113 A1	31-10-2002
			WO	02086310 A1	31-10-2002

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

CIB 7^{*} F02B3/02 F02B23/10 F02B25/14

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 F02B F02D

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	US 6 508 225 B1 (HIKI KEIICHI) 21 janvier 2003 (2003-01-21) colonne 12, ligne 5 - colonne 13, ligne 47 figures 5-10	1,2,4, 6-8
Y	US 6 481 394 B1 (HIKI KEIICHI) 19 novembre 2002 (2002-11-19) abrégé colonne 2, ligne 59 - colonne 3, ligne 67 colonne 7, ligne 1 - ligne 19 colonne 9, ligne 47 - colonne 10, ligne 4 colonne 11, ligne 49 - colonne 12, ligne 5 figures 2,3,10,12	1,6-8

-/--

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- *A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- *T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- *X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- *Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- *&* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

14 avril 2005

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

25/04/2005

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Matray, J-F

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/FR2004/003400

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	<p>US 6 227 165 B1 (KATO MASAHIKO ET AL) 8 mai 2001 (2001-05-08) abrégé colonne 1, ligne 36 - ligne 51 colonne 5, ligne 32 - colonne 6, ligne 58 colonne 9, ligne 21 - ligne 34 figures 2,3,12</p>	1,2,4, 6-8
A	<p>US 6 302 753 B1 (KATO MASAHIKO ET AL) 16 octobre 2001 (2001-10-16) abrégé colonne 1, ligne 31 - ligne 64</p>	1
A	<p>PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 21, 3 août 2001 (2001-08-03) & JP 2001 115845 A (YAMAHA MOTOR CO LTD), 24 avril 2001 (2001-04-24) abrégé figures 1,2</p>	1,2,4, 6-8
A	<p>US 6 092 494 A (DAVIS RICHARD A) 25 juillet 2000 (2000-07-25) abrégé colonne 5, ligne 65 - colonne 6, ligne 41 figures 1,2,4,6</p>	1
A	<p>WO 02/086310 A (MAGNETI MARELLI FRANCE) 31 octobre 2002 (2002-10-31) cité dans la demande abrégé page 4, ligne 29 - page 7, ligne 27 figures 1,2</p>	1,6

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs

membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/FR2004/003400

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6508225	B1	21-01-2003	JP 2000213431 A	02-08-2000
US 6481394	B1	19-11-2002	JP 2001090576 A	03-04-2001
			JP 2001090590 A	03-04-2001
US 6227165	B1	08-05-2001	JP 11173205 A	29-06-1999
US 6302753	B1	16-10-2001	JP 10306752 A	17-11-1998
			JP 11082216 A	26-03-1999
			JP 11082217 A	26-03-1999
			JP 2000073904 A	07-03-2000
			US 6112726 A	05-09-2000
			US 6390071 B1	21-05-2002
JP 2001115845	A	24-04-2001	AUCUN	
US 6092494	A	25-07-2000	AUCUN	
WO 02086310	A	31-10-2002	FR 2824113 A1	31-10-2002
			WO 02086310 A1	31-10-2002